

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/DE05/000242

International filing date: 11 February 2005 (11.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 10 2004 009 757.7  
Filing date: 28 February 2004 (28.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 09 May 2005 (09.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND****Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung****Aktenzeichen:**

10 2004 009 757.7

**Anmeldetag:**

28. Februar 2004

**Anmelder/Inhaber:**

MTU Aero Engines GmbH, 80995 München/DE

**Bezeichnung:**Verfahren und Elektrode zum elektrochemischen  
Entschichten von Bauteilen**IPC:**

C 25 F, F 01 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 6. April 2005  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

Stanschus

## Verfahren und Elektrode zum elektrochemischen Entschichten von Bauteilen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum elektrochemischen Entschichten von Bauteilen, insbesondere von Gasturbinenbauteilen, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Elektrode zum elektrochemischen Entschichten von Bauteilen gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 18.

Bauteile einer Gasturbine, wie zum Beispiel die Laufschaufeln, sind zur Bereitstellung einer Oxidationsbeständigkeit, einer Korrosionsbeständigkeit oder auch einer Erosionsbeständigkeit an den Oberflächen mit speziellen Beschichtungen versehen. Die Bauteile von Gasturbinen unterliegen während des Betriebs derselben einem Verschleiß oder können auf sonstige Art und Weise beschädigt werden. Zur Reparatur von Beschädigungen ist es in der Regel erforderlich, vom zu reparierenden Bauteil die Beschichtung bereichsweise, teilweise oder auch insgesamt zu entfernen bzw. abzutragen. Das Entfernen bzw. Abtragen von Beschichtungen bezeichnet man auch als Entschichten.

Bei den Entschichtungsverfahren unterscheidet man solche, bei denen die Entschichtung auf mechanischem Wege, chemischem Wege oder elektrochemischem Wege erfolgt. Die hier vorliegende Erfindung betrifft die elektrochemische Entschichtung, die auf dem Prinzip der Elektrolyse beruht.

Die US 6,165,345 offenbart ein elektrochemisches Entschichtungsverfahren für Gasturbinenschaufeln. Nach dem dort offenbarten Verfahren wird eine zu entschlachtende Turbinenschaufel an die positive Klemme einer Spannungsquelle angeschlossen, wobei an die negative Klemme derselben eine angepasste Elektrode angeschlossen wird. Die Elektrode und zumindest der zu entschlachtende Bereich der Turbinenschaufel sind in ein Arbeitsmedium eingetaucht, wobei eine Gleichspannung von 1 bis 3 V je Bauteil angelegt wird, um einen Stromfluss zwischen 5 und 10 A bereitzustellen. Der durch die angelegte Gleichspannung definierte Arbeitsbereich der elektrochemischen Entschichtung ist gemäß US 6,165,345 während der gesamten Entschichtung konstant.

Der vorliegenden Erfindung das Problem zu Grunde, ein neuartiges Verfahren zum elektrochemischen Entschichten von Bauteilen sowie eine neuartige Elektrode zum elektrochemischen Entschichten von Bauteilen zu schaffen.

Dieses Problem wird durch ein Verfahren gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Erfindungsgemäß wird eine Elektrode verwendet, die genau an einen zu entschichtenden Bereich des Bauteils derart angepasst ist, dass ein Spalt zwischen dem zu entschichtenden Bereich des Bauteils und der Elektrode über den gesamten zu entschichtenden Bereich in etwa gleich groß ist. Vorzugsweise ist der Spalt zwischen dem zu entschichtenden Bereich des Bauteils und der Elektrode über den gesamten zu entschichtenden Bereich in etwa konstant und zwischen 10  $\mu\text{m}$  und 1 mm groß.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist eine elektrochemische Entschichtung mit extrem kleinen Spalten zwischen der Elektrode und dem zu entschichtenden Bauteil möglich, was zu einer optimierten Stromdichteverteilung mit einem gezielten Abtrag an dem zu entschichtenden Bereich des Bauteils führt. Bedingt durch die einhaltbaren, sehr kleinen Spalte zwischen der Elektrode und dem zu entschichtenden Bauteil verlaufen die Stromlinien auf kürzestem Wege zwischen der Elektrode und der zu entfernenden Beschichtung, sodass die gesamte Entschichtung gleichmäßig erfolgt.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird der zum Entschichten angelegte Strom bzw. die angelegte Spannung zeitlich gepulst, wobei die Pulsfrequenz für den Strom bzw. die Spannung vorzugsweise zwischen 1 Hz und 10 kHz und die zum Entschichten angelegte, mittlere Stromstärke zwischen 0,1 A/mm<sup>2</sup> und 1,5 A/mm<sup>2</sup> liegt.

Nach einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung führt die Elektrode eine mechanische Vibration aus, um so einen Elektrolyten auszutauschen. Eine Frequenz der mechanischen Vibration liegt dabei zwischen 1 Hz bis 100 Hz, wobei ein Hub bzw. eine Amplitude der mechanischen Vibration zwischen 0,1 mm und 2 mm liegt.

Bevorzugte Verwendungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in den Patentansprüchen 14, 15, 16 und 17 definiert.

Die erfindungsgemäße Elektrode zum elektrochemischen Entschichten von Bauteilen ist in Patentanspruch 18 beansprucht.

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung. Ausführungsbeispiele der Erfindung werden, ohne hierauf beschränkt zu sein, an Hand der Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigt:

Fig. 1 eine zu entschichtende Gasturbinenschaufel in schematisierter Darstellung.

Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren am Beispiel einer zu entschichtenden Gasturbinenschaufel beschrieben. Fig. 1 zeigt eine solche Schaufel 10 einer Gasturbine, die ein Schaufelblatt 11 und einen Schaufelfuß 12 umfasst.

Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Schaufel 10 in einem Bereich des Schaufelblatts 11 benachbart zum Schaufelfuß 12 mit einer Beschichtung 13 versehen. Bei dieser Beschichtung 13 kann es sich um eine oxidationsbeständige, korrosionsbeständige und erosionsbeständige Beschichtung handeln.

Im Sinne der Erfindung wird nun ein Verfahren vorgeschlagen, um zum Beispiel zur Reparatur der Schaufel 10 die Beschichtung 13 von der Oberfläche des Schaufelblatts 11 zumindest bereichsweise abzutragen bzw. zu entfernen. Im Sinne der Erfindung wird dies auf elektrochemischem Wege durchgeführt.

Zur elektrochemischen Entschichtung der Schaufel 10 in einem bestimmten Abschnitt bzw. Bereich wird dieselbe an eine positive Klemme einer Spannungsquelle oder Stromquelle angeschlossen, wohingegen die Elektrode bzw. Gegenelektrode an eine negative Klemme der Spannungsquelle bzw. Stromquelle angeschlossen wird. Die Elektrode sowie zumindest der zu entschichtende Bereich der Schaufel 10 sind in ein Arbeitsmedium - in eine Elektrolytlösung bzw. ein Elektrolyt - eingetaucht.

Im Sinne der hier vorliegenden Erfindung wird zur elektrochemischen Entschichtung eine Elektrode verwendet, die ein exaktes Abbild des zu entschichtenden Bereichs des Bauteils darstellt. Eine dem zu entschichtenden Bauteil bzw. zu entschichtenden Bauteilbereich zugewandte Oberfläche der Elektrode ist in ihrer dreidimensionalen Kontur exakt an die dreidimensionale Kontur einer Oberfläche des zu entschichtenden Bereichs angepasst. Bei der Entschichtung der Gasturbinenschaufel 10 gemäß Fig. 1 bedeutet dies, dass dann, wenn ein Bereich des Schaufelblatts 11 entschichtet werden soll, die dreidimensionale Kontur der verwendeten Elektrode exakt der dreidimensionalen Kontur des zu entschichtenden Bereichs des Schaufelblatts 11 entspricht. Hierdurch kann ein Spalt zwischen dem zu entschichtenden Bereich des Bauteils und der Elektrode über den gesamten zu entschichtenden Bereich in etwa konstant eingestellt werden. Weiterhin kann

mit sehr kleinen Spalten zwischen der Elektrode und dem zu entschichtenden Bauteil gearbeitet werden, was zu einer optimierten Stromdichteverteilung mit gezieltem Abtrag der Entschichtung führt. Die Entschichtung kann an exakt bzw. genau definierten Bereichen ohne Beeinflussung benachbarter bzw. angrenzender Bereiche durchgeführt werden.

Im Sinne der hier vorliegenden Erfindung wird vorzugsweise ein Spalt zwischen dem zu entschichtenden Bereich des Bauteils und der Elektrode eingestellt, der über den gesamten zu entschichtenden Bereich in etwa konstant und kleiner als 2 mm, vorzugsweise kleiner als 1 mm, ist. Der Spalt zwischen dem zu entschichtenden Bereich des Bauteils und der Elektrode ist dabei vorzugsweise zwischen 10  $\mu\text{m}$  und 1 mm groß. Bei derart kleinen Spalten zwischen dem zu entschichtenden Bauteil und der Elektrode verlaufen die Stromlinien auf kürzestem Weg zwischen der Elektrode und der zu entfernenden Beschichtung. Die Stromdichte ist im gesamten zu entschichtenden Bereich unabhängig von der Bauteilkontur und damit gleichmäßig, wodurch eine besonders gleichmäßige Entschichtung durchgeführt werden kann.

Im Sinne der hier vorliegenden Erfindung wird der zum Entschichten angelegte Strom bzw. die zum Entschichten angelegte Spannung im Unterschied zum Stand der Technik nicht zeitlich konstant gehalten, sondern vielmehr zeitlich gepulst. Dies bedeutet, dass mit einer bestimmten Pulsfrequenz der zum Entschichten angelegte Strom bzw. die zum Entschichten angelegte Spannung eingeschaltet sowie ausgeschaltet wird. Die Pulsfrequenz liegt dabei vorzugsweise zwischen 1 Hz und 10 kHz. Hierdurch wird gezielt eine kontrollierte Energiemenge zum Entschichten eingebracht, was zu besseren Entschichtungsergebnissen führt. Die zum Entschichten angelegte, mittlere Stromstärke liegt dabei vorzugsweise zwischen 0,1 A/mm<sup>2</sup> und 1,5 A/mm<sup>2</sup>.

Die Parameter der Entschichtung werden dabei vorzugsweise derart gewählt, dass eine Passivierung der zu entschichtenden Bauteiloberfläche vermieden wird. Es kann dann die gesamte Entschichtung des zu entschichtenden Bereichs in einem Arbeitsgang bis zur völligen Entschichtung durchgeführt werden. Hierdurch ergibt sich eine verkürzte Bearbeitungszeit für die Entschichtung.

Im Sinne der hier vorliegenden Erfindung wird weiterhin beim Entschichten die Elektrode zu mechanischen Vibrationen angeregt, um so den Elektrolyten bzw. das Arbeitsmedium auszutauschen. Eine Frequenz der mechanischen Vibration liegt dabei zwischen 1 Hz bis 100 Hz, wobei ein Hub bzw. eine Amplitude der mechanischen Vibration zwischen 0,1 mm und 2 mm liegt.

Die Entschichtung wird gestoppt bzw. abgeschaltet, sobald ein Trägermaterial der Beschichtung 13 erreicht wird, wobei eine Änderung des elektrischen Potentials als Kriterium für das Stoppen bzw. Abschalten der Entschichtung verwendet wird. Hierdurch wird ein Abtragen des Trägermaterials vermieden.

Als Elektrode wird vorzugsweise eine poröse Elektrode verwendet. Durch diese poröse Elektrode kann der Elektrolyt bzw. das Arbeitsmedium zugeführt bzw. ausgetauscht werden.

Die Elektrode wird dadurch geschaffen, dass mit einer verformbaren Masse ein Abdruck des zu entschichtenden Bereichs hergestellt wird, wobei die Masse danach vorzugsweise ausgehärtet wird. Das Aushärten der Masse erfolgt an Luft oder in einem Ofen. Die verformbare Masse ist plastisch verformbar und elektrisch leitfähig, sodass der ausgehärtete Abdruck als Elektrode verwendet werden kann. Die verformbare Masse kann zum Beispiel aus einem leitfähigen Pulver und einem Bindemittel bestehen, wobei als Bindemittel Wachs und als leitfähiges Pulver ein Messingpulver oder Wolframpulver oder Kupferpulver verwendet werden kann. Bei Verwendung eines Sinterwerkstoffs als verformbare Masse lässt sich auf obige Art und Weise eine poröse Elektrode besonders einfach herstellen. Wird als verformbare Masse z.B. ein Lötzinn verwendet, so kann auf das Aushärten verzichtet werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich besonders zur Verwendung bei der Entschichtung von Gasturbinenschaufeln, nämlich zur Entfernung bzw. zum Abtragen von Oxidationsschutzbeschichtungen, Korrosionsschutzbeschichtungen oder auch Erosionsschutzbeschichtungen. Des weiteren eignet sich das erfindungsgemäße Verfahren zur Entfernung sogenannter Haftsichten, die zwischen dem Bauteil und der eigentlichen Verschleißschutzbeschichtung angeordnet sind, und die eine ähnliche Materialzusammensetzung wie das eigentliche Bauteil aufweisen. So kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren von einem Bauteil, welches aus Titan oder einer Titanbasislegierung besteht, zum Beispiel eine Haftsicht aus Titanнитrit selektiv entfernt werden, ohne das eigentliche Bauteil zu beeinträchtigen. Die Entschichtung metallischer Bauteile von Beschichtungen ähnlicher chemischer Zusammensetzungen ist mit den aus dem Stand der Technik bekannten Entschichtungsverfahren nur unzureichend möglich.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht demnach eine selektive und damit genaue Entschichtung von Bauteilen auf elektrochemischem Wege. Das

erfindungsgemäße Verfahren kann daher auch als PECM (Precise Electro Chemical Machining)-Verfahren bezeichnet werden. Die wesentlichen Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens sind demnach: Es sind Beschichtungen entfernbar, die in ihrer Zusammensetzung ähnlich dem Grundwerkstoff des zu entschichtenden Bauteils sind; es ist eine konturgenaue Entfernung der Beschichtungen auf komplexen Bauteilgeometrien möglich; eine Passivierung der zu bearbeitenden Bauteiloberfläche bei der Entschichtung wird vermieden; es ist eine sehr gleichmäßige und schnelle Entschichtung von Bauteilen möglich.



Bezugszeichenliste

10	Schaufel
11	Schaufelblatt
12	Schaufelfuß
13	Beschichtung

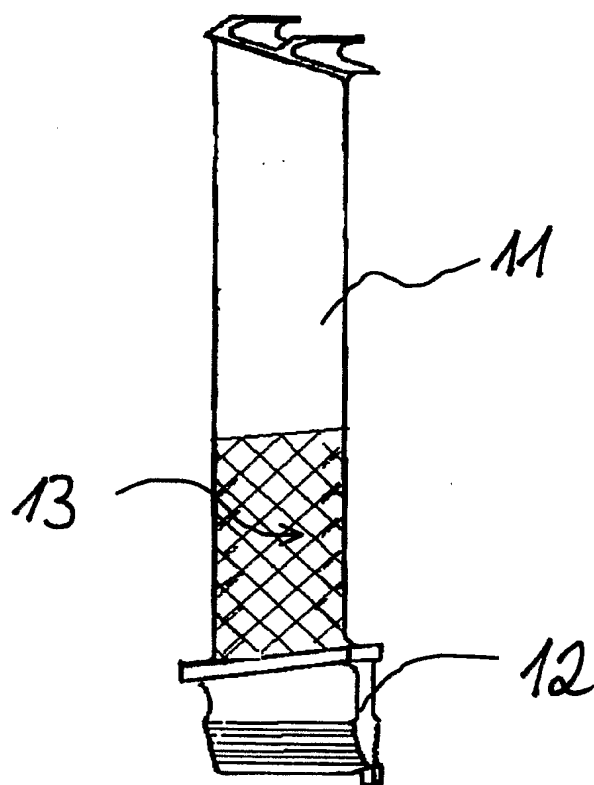
## Patentansprüche

1. Verfahren zum elektrochemischen Entschichten von Bauteilen, insbesondere von Gasturbinenbauteilen, wobei das zu entschichtende Bauteil an eine positive Klemme einer Spannungsquelle bzw. Stromquelle und eine Elektrode an eine negative Klemme derselben angeschlossen wird,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass eine Elektrode verwendet wird, die genau an einen zu entschichtenden Bereich des Bauteils derart angepasst ist, dass ein Spalt zwischen dem zu entschichtenden Bereich des Bauteils und der Elektrode über den gesamten zu entschichtenden Bereich in etwa gleich groß ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass eine dem zu entschichtenden Bauteil zugewandte Oberfläche der Elektrode in ihrer dreidimensionalen Kontur exakt an die dreidimensionale Kontur einer Oberfläche des zu entschichtenden Bereichs angepasst ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Spalt zwischen dem zu entschichtenden Bereich des Bauteils und der Elektrode über den gesamten zu entschichtenden Bereich kleiner als 2 mm ist.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Spalt zwischen dem zu entschichtenden Bereich des Bauteils und der Elektrode über den gesamten zu entschichtenden Bereich kleiner als 1 mm ist.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Spalt zwischen dem zu entschichtenden Bereich des Bauteils und der Elektrode über den gesamten zu entschichtenden Bereich in etwa konstant und zwischen 10  $\mu\text{m}$  und 1 mm groß ist.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektrode eine mechanische Vibration ausführt, um so einen Elektrolyten auszutauschen.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine Frequenz der mechanischen Vibration zwischen 1 Hz bis 100 Hz liegt, und dass ein Hub bzw. eine Amplitude der mechanischen Vibration zwischen 0,1 mm und 2 mm liegt.
8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine poröse Elektrode verwendet wird, durch die Elektrolyt geführt bzw. ausgetauscht wird.
9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der zum Entschichten angelegte Strom bzw. die angelegte Spannung zeitlich gepulst wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulsfrequenz für den Strom bzw. die Spannung zwischen 1 Hz und 10 kHz liegt.
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die zum Entschichten angelegte, mittlere Stromstärke zwischen 0,1 A/mm<sup>2</sup> und 1,5 A/mm<sup>2</sup> liegt.
12. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Prozessparameter der Entschichtung so gewählt werden, dass eine Passivierung des entschichtenden Bereichs vermieden wird, so dass die gesamte Entschichtung des zu entschichtenden Bereichs des Bauteils in einem Arbeitsgang bis zu vollständigen Entschichtung durchgeführt werden kann.
13. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Entschichtung gestoppt bzw. abgeschaltet wird, wobei eine

Änderung des elektrischen Potentials als Kriterium für das Stoppen bzw. Abschalten der Entschichtung verwendet wird.

14. Verwendung des Verfahrens nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13 zur Entschichtung von Gasturbinenbauteilen, insbesondere zur Entschichtung von Gasturbinenschaufeln bei der Reparatur derselben, die aus einer Titanbasislegierung oder einer Nickelbasislegierung gebildet sind.
15. Verwendung des Verfahrens nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13 zum Entfernen metallischer Schichten von Gasturbinenbauteilen, insbesondere von Gasturbinenschaufeln, wobei die zu entfernde, metallische Schicht an die Zusammensetzung des Gasturbinenbauteils angepasst ist.
16. Verwendung des Verfahrens nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13 zum Entfernen einer Schicht aus Titannitrid (TiN) oder aus Titanaluminiumnitrid (TiAlN) oder Titanzirkonnitrid (TiZrN) oder Chromaluminiumnitrid (CrAlN) oder Chromnitrid (CrN) von einem Gasturbinenbauteil aus einer Titanbasislegierung.
17. Verwendung des Verfahrens nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13 zum Entfernen einer Schicht aus Titannitrid (TiN) oder aus Titanaluminiumnitrid (TiAlN) oder Titanzirkonnitrid (TiZrN) oder Chromaluminiumnitrid (CrAlN) oder Chromnitrid (CrN) von einem Gasturbinenbauteil aus einer Nickelbasislegierung.
18. Elektrode zum elektrochemischen Entschichten von Bauteilen, insbesondere von Gasturbinenbauteilen, dadurch gekennzeichnet, die Elektrode ein Abdruck eines zu entschichtenden Bauteilbereichs ist, wobei der Abdruck aus einer verformbaren, elektrisch leitfähigen Masse gebildet ist, die vorzugsweise ausgehärtet ist.
19. Elektrode nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass dieselbe porös ist, und dass die verformbare, elektrisch leitfähige Masse ein Sinterwerkstoff ist.



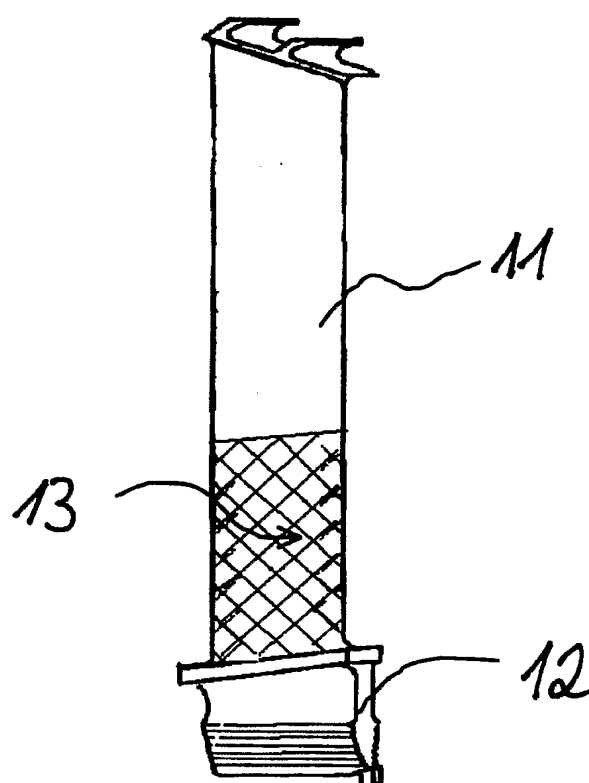
10 ↗

fig. 1

## Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum elektrochemischen Entschichten von Bauteilen, insbesondere von Gasturbinenbauteilen, wobei das zu entschichtende Bauteil an eine positive Klemme einer Spannungsquelle bzw. Stromquelle und eine Elektrode an eine negative Klemme derselben angeschlossen wird. Erfindungsgemäß wird eine Elektrode verwendet, die genau an einen zu entschichtenden Bereich des Bauteils derart angepasst ist, dass ein Spalt zwischen dem zu entschichtenden Bereich des Bauteils und der Elektrode über den gesamten zu entschichtenden Bereich in etwa gleich groß ist.

(Fig. 1)



10 ↗

Fig. 1